

メディア学大系

18

# メディアのための アルゴリズム

並べ替えから  
深層学習まで

藤澤 公也

寺澤 卓也

羽田 久一

共著

コロナ社

# メディア学大系 編集委員会

## 監修

### 〈第1期〉

相川 清明 (元東京工科大学, 工学博士)

飯田 仁 (元東京工科大学, 博士 (工学))

### 〈第2期〉

相川 清明 (元東京工科大学, 工学博士)

近藤 邦雄 (東京工科大学, 工学博士)

### 〈第3期〉

大淵 康成 (東京工科大学, 博士 (情報理工学))

柿本 正憲 (東京工科大学, 博士 (情報理工学))

## 編集委員

稲葉 竹俊 (東京工科大学)

榎本 美香 (東京工科大学, 博士 (学術))

太田 高志 (東京工科大学, 博士 (工学))

大山 昌彦 (東京工科大学)

菊池 司 (東京工科大学, 博士 (工学))

榊 俊吾 (東京工科大学, 博士 (社会情報学))

佐々木 和郎 (東京工科大学)

進藤 美希 (東京工科大学, 博士 (経営管理))

寺澤 卓也 (東京工科大学, 博士 (工学))

藤澤 公也 (東京工科大学, 博士 (政策・メディア))

松永 信介 (東京工科大学, 博士 (理学))

三上 浩司 (東京工科大学, 博士 (政策・メディア))

## 「メディア学大系」刊行に寄せて

ラテン語の“メディア（中間・仲立ち）”という言葉は、16世紀後期の社会で使われ始め、20世紀前期には人間のコミュニケーションを助ける新聞・雑誌・ラジオ・テレビが代表する“マスメディア”を意味するようになった。また、20世紀後期の情報通信技術の著しい発展によってメディアは社会変革の原動力に不可欠な存在までに押し上げられた。著名なメディア論者マーシャル・マクルーハンは彼の著書『メディア論—人間の拡張の諸相』（栗原・河本訳、みすず書房、1987年）のなかで、“メディアは人間の外部環境のすべてで、人間拡張の技術であり、われわれのすみからすみまで変えてしまう。人類の歴史はメディアの交替の歴史ともいえ、メディアの作用に関する知識なしには、社会と文化の変動を理解することはできない”と示唆している。

このように未来社会におけるメディアの発展とその重要な役割は多くの学者が指摘するところであるが、大学教育の対象としての「メディア学」の体系化は進んでいない。東京工科大学は理工系の大学であるが、その特色を活かしてメディア学的一端を学部レベルで教育・研究する学部を創設することを検討し、1999年4月世に先駆けて「メディア学部」を開設した。ここでいう、メディアとは「人間の意思や感情の創出・表現・認識・知覚・理解・記憶・伝達・利用といった人間の知的コミュニケーションの基本的な機能を支援し、助長する媒体あるいは手段」と広義にとらえている。このような多様かつ進化する高度な学術対象を取り扱うためには、従来の個別学問だけで対応することは困難で、諸学問横断的なアプローチが必須と考え、学部内に専門的な科目群（コア）を設けた。その一つ目はメディアの高度な機能と未来のメディアを開拓するための工学的な領域「メディア技術コア」、二つ目は意思・感情の豊かな表現力と秘められた発想力の発掘を目指す芸術学的な領域「メディア表現コ

ii 「メディア学大系」刊行に寄せて

ア」, 三つ目は新しい社会メディアシステムの開発ならびに健全で快適な社会の創造に寄与する人文社会的な領域「メディア環境コア」である。

「文・理・芸」融合のメディア学部は創立から13年の間, メディア学の体系化に試行錯誤の連続であったが, その経験を通して, メディア学は21世紀の学術・産業・社会・生活のあらゆる面に計り知れない大きなインパクトを与え, 学問分野でも重要な位置を占めることを知った。また, メディアに関する学術的な基礎を確立する見通しもつき, 歴年の願いであった「メディア学大系」の教科書シリーズ全10巻を刊行することになった。

2016年, メディア学の普及と進歩は目覚ましく, 「メディア学大系」もさらに増強が必要になった。この度, 視聴覚情報の新たな取り扱いの進歩に対応するため, さらに5巻を刊行することにした。

2017年に至り, メディアの高度化に伴い, それを支える基礎学問の充実が必要になった。そこで, 数学, 物理, アルゴリズム, データ解析の分野において, メディア学全体の基礎となる教科書4巻を刊行することにした。メディア学に直結した視点で執筆し, 理解しやすいように心がけている。また, 発展を続けるメディア分野に対応するため, さらに「メディア学大系」を充実させることを計画している。

この「メディア学大系」の教科書シリーズは, 特にメディア技術・メディア芸術・メディア環境に興味をもつ学生には基礎的な教科書になり, メディアエキスパートを志す諸氏には本格的なメディア学への橋渡しの役割を果たすと確信している。この教科書シリーズを通して「メディア学」という新しい学問の台頭を感じとっていただければ幸いである。

2020年1月

東京工科大学  
メディア学部 初代学部長  
前学長

相磯秀夫

# 「メディア学大系」の使い方

メディア学は、工学・社会科学・芸術などの幅広い分野を包摂する学問である。これらの分野を、情報技術を用いた人から人への情報伝達という観点で横断的に捉えることで、メディア学という学問の独自性が生まれる。「メディア学大系」では、こうしたメディア学の視座を保ちつつ、各分野の特徴に応じた分冊を提供している。

第1巻『改訂メディア学入門』では、技術・表現・環境という言葉で表されるメディアの特徴から、メディア学の全体像を概観し、さらなる学びへの道筋を示している。

第2巻『CGとゲームの技術』、第3巻『コンテンツクリエーション（改訂版）』は、ゲームやアニメ、CGなどのコンテンツの創作分野に関連した内容となっている。

第4巻『マルチモーダルインタラクション』、第5巻『人とコンピュータの関わり』は、インタラクティブな情報伝達の仕組みを扱う分野である。

第6巻『教育メディア』、第7巻『コミュニティメディア』は、社会におけるメディアの役割と、その活用方法について解説している。

第8巻『ICTビジネス』、第9巻『ミュージックメディア』は、産業におけるメディア活用に着目し、経済的な視点も加えたメディア論である。

第10巻『メディアICT（改訂版）』は、ここまでに紹介した各分野を扱う際に必要となるICT技術を整理し、情報科学とネットワークに関する基本的なリテラシーを身に付けるための内容を網羅している。

第2期の第11巻～第15巻は、メディア学で扱う情報伝達手段の中でも、視聴覚に関わるものに重点を置き、さらに具体的な内容に踏み込んで書かれている。

第11巻『CGによるシミュレーションと可視化』、第12巻『CG数理の基礎』

では、視覚メディアとしてのコンピュータグラフィックスについて、より詳しく学ぶことができる。

第13巻『音声音響インタフェース実践』は、聴覚メディアとしての音の処理技術について、応用にまで踏み込んだ内容となっている。

第14巻『クリエイターのための映像表現技法』、第15巻『視聴覚メディア』では、視覚と聴覚とを統合的に扱いながら、効果的な情報伝達についての解説を行う。

第3期の第16巻～第19巻は、メディア学を学ぶうえでの道具となる学問について、必要十分な内容をまとめている。

第16巻『メディアのための数学』、第17巻『メディアのための物理』は、文系の学生でもこれだけは知っておいて欲しいという内容を整理したものである。

第18巻『メディアのためのアルゴリズム』、第19巻『メディアのためのデータ解析』では、情報工学の基本的な内容を、メディア学での活用という観点で解説する。

各巻の構成内容は、大学における講義2単位に相当する学習を想定して書かれている。各章の内容を身に付けた後には、演習問題を通じて学修成果を確認し、参考文献を活用してさらに高度な内容の学習へと進んでもらいたい。

メディア学の分野は日進月歩で、毎日のように新しい技術が話題となっている。しかし、それらの技術が長年の学問的蓄積のうえに成立しているということも忘れてはいけない。「メディア学大系」では、そうした蓄積を丁寧に描きながら、最新の成果も取り込んでいくことを目指している。そのため、各分野の基礎的内容についての教育経験を持ち、なおかつ最新の技術動向についても把握している第一線の執筆者を選び、執筆をお願いした。本シリーズが、メディア学を志す人たちにとっての学びの出発点となることを期待するものである。

2023年1月

柿本正憲  
大淵康成

# ま え が き

現代社会において、われわれが日々接する情報の大部分は、コンピュータシステムによって処理されている。そして、その情報を処理するうえで重要な役割を果たすのが、アルゴリズムである。アルゴリズムは、入力されたデータを処理して、目的とする出力を得るための手続きや手順を表したものである。例えば、検索エンジンでの検索結果の表示や、SNSでのフィードの表示など、私たちが日々目にする情報の並べ替えや整理に使われている。さらには、インターネットでの動画配信を支えるデータ圧縮やロールプレイングゲームの中でキャラクターが進むべき道を見つけ出す経路探索、インターネット上で安全な商取引を行うための暗号など、メディアコンテンツの中にもさまざまなアルゴリズムが利用されている。

近年、著しい発達をしている人工知能（AI）もアルゴリズムの一つといえる。2010年代に第3次人工知能ブームに入ってから、AI技術の進歩は急激に速まり、囲碁、将棋などの分野で人間のチャンピオンに勝てる能力を持つソフトウェアが登場し注目を集めた。特に2022年は画像生成AIや対話AIなどでいくつもの生成系AI（generative AI）が登場し驚くべき成果を出している。人工知能技術はますます進化を続けており、私たちの生活や社会に大きな変革をもたらす可能性を秘めている。

本書は、幅広い分野を網羅しながら、アルゴリズムに関する知識を詳しく解説している。まず、アルゴリズムの基礎的な考え方から始まり、その後は並べ替えやデータ探索、経路探索、データの圧縮と展開、誤り検出・訂正、セキュリティ・暗号といったさまざまなトピックスを取り上げている。

また、特に注目されている人工知能技術の一つであるニューラルネットワークと深層学習についても詳細な解説を行っている。これにより、代表的なアル

ゴリズムについての理解を深めると同時に、最新の人工知能技術にも触れることができる。

1章では、アルゴリズムの考え方について説明し、2～4章では、並べ替え、データ探索、経路探索といった基本的なアルゴリズムについて述べている。この1～4章は寺澤が執筆した。5～7章では、データ圧縮、誤り検出、暗号といった応用的なアルゴリズムについて、羽田が執筆した。後半は人工知能について扱い、8章では人工知能の基礎について、9～11章ではニューラルネットワークの基本から、畳み込みニューラルネットワーク、学習の効率化について述べ、12、13章では深層学習とそれらを応用したさまざまな技術について解説している。8～13章は藤澤が執筆した。

本書を読むことで、読者がアルゴリズムについての基礎知識から応用まで理解し、人工知能技術の現状や将来について洞察して、より深く学ぶきっかけになれば幸いである。

人工知能は、いまこの「まえがき」を書いている時点から本書が実際に出版されるまでの間にもいっそうの発展を遂げ、さらに、その後もますます進化していくであろう。本書の読者には、それらの変化に取り残されないために、本書を通じてアルゴリズムや人工知能技術についての本質を理解し、活用する力を身に付けていただければと考えている。

なお、本書の演習問題の解答、サンプルコードなどは、コロナ社の書籍詳細ページに記載されているので、参考にしてほしい。

2023年7月

藤澤公也・寺澤卓也・羽田久一

- 
- 注1) コロナ社の書籍詳細ページ (<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339027761/>) から演習問題の解答、サンプルコードなどの補足情報がダウンロードできます。
- 注2) 本書で使用している会社名、製品名は、一般に各社の登録商標です。本書では®や™は省略しています。
- 注3) 本書で紹介している URL は 2023 年 7 月現在のものです。



# 目次

## 1章 アルゴリズムの基本

1.1	アルゴリズムとは	2
1.2	データ構造	3
1.2.1	変数	3
1.2.2	配列	4
1.2.3	キュー	5
1.2.4	スタック	5
1.2.5	ポインタ	6
1.2.6	構造体	7
1.2.7	リスト	8
1.2.8	木構造	9
1.2.9	連想配列	10
1.3	アルゴリズムからプログラムへ	11
1.3.1	条件分岐と繰り返し	12
1.3.2	サブルーチン	13
1.3.3	再帰	15
1.3.4	アルゴリズムの表現	17
1.3.5	手続き型とオブジェクト指向	18
1.3.6	実行可能プログラムへの変換	19
1.4	計算量	21
	演習問題	23

## 2章 並べ替え

2.1	ソートとは	25
2.2	さまざまなソートアルゴリズム	25
2.2.1	バブルソート	26
2.2.2	挿入ソート	28
2.2.3	選択ソート	31
2.2.4	マージソート	34

2.2.5 クイックソート	38
演習問題	41

### 3章 データ探索

3.1 データ探索とは	43
3.2 線形探索	43
3.3 二分探索	44
3.4 ハッシュ探索	46
3.5 木構造の探索	47
3.6 コンピュータグラフィックスや画像検索での応用	52
3.6.1 BVH	53
3.6.2 k-d tree	55
3.6.3 SIFT	58
演習問題	58

### 4章 経路探索

4.1 経路探索とは	60
4.2 ダイクストラ法	60
4.3 A*アルゴリズム	66
4.4 ベルマン-フォード法	68
4.5 インターネットでの経路探索	72
4.5.1 RIP	74
4.5.2 OSPF	77
演習問題	78

### 5章 データの圧縮と展開

5.1 データ圧縮とその応用	80
5.2 可逆圧縮と非可逆圧縮	80
5.3 ランレングス圧縮	82
5.4 ハフマン符号化	83
5.5 LZ 法	85
5.6 画像の圧縮	87

5.6.1	可逆な画像圧縮	87
5.6.2	非可逆な画像圧縮	88
5.7	メディアデータの圧縮	89
5.7.1	音声データの圧縮	89
5.7.2	動画データの圧縮	91
	演習問題	91

## 6章 誤り検出と訂正

6.1	誤り検出と誤り訂正	93
6.2	パリティとチェックディジットによる誤り検出	93
6.2.1	パリティチェック	94
6.2.2	チェックディジット	94
6.3	誤り訂正の基礎	95
6.4	ハミング符合による誤り訂正	97
6.5	誤り訂正符号の応用	99
	演習問題	100

## 7章 データの暗号化

7.1	デジタルデータと暗号化	102
7.1.1	暗号とは	102
7.1.2	暗号とメディアコンテンツ	102
7.1.3	共通鍵暗号と公開鍵暗号	103
7.2	暗号処理の基礎	104
7.3	暗号の歴史	105
7.3.1	古代の暗号	105
7.3.2	シーザー暗号	105
7.3.3	古典的な暗号	107
7.3.4	近代の暗号	108
7.4	共通鍵暗号	109
7.4.1	ストリーム暗号とブロック暗号	109
7.4.2	DES と AES	110
7.5	公開鍵暗号	111
7.6	RSA 暗号	112
7.6.1	RSA 暗号とは	113

7.6.2	RSA 暗号の実際	113
7.6.3	RSA 暗号の仕組み	115
7.6.4	RSA 暗号とデジタル署名	117
7.7	暗号とインターネット	118
	演習問題	119

## 8章 人工知能と機械学習

8.1	人工知能とは	121
8.1.1	強いAIと弱いAI	121
8.1.2	人工知能の歴史	122
8.1.3	人工知能を実現する技術	124
8.2	機械学習とは	125
8.2.1	学習の対象	125
8.2.2	機械学習の仕組み	127
8.2.3	学習結果による予測と分類	128
8.3	機械学習の種類	128
8.3.1	教師あり学習	129
8.3.2	教師なし学習	131
8.3.3	強化学習	131
8.3.4	生成モデル	132
	演習問題	132

## 9章 ニューラルネットワークによる機械学習

9.1	ニューラルネットワークとは	134
9.1.1	ニューラルネットワークの仕組み	134
9.1.2	ニューラルネットワークの構造	135
9.2	ニューラルネットワークのモデル化	137
9.2.1	ニューロンのモデル化	137
9.2.2	ネットワークのモデル化	140
9.3	ニューラルネットワークの学習の仕組み	142
9.3.1	ニューラルネットワークにおける予測	142
9.3.2	最適化と損失関数	143
9.3.3	勾配法	145
9.3.4	バックプロパゲーション	148
9.3.5	勾配消失問題	150

9.4	ニューラルネットワークの実装	151
9.4.1	ニューラルネットワーク演算の行列演算表現	151
9.4.2	ニューラルネットワーク機械学習ライブラリ	153
	演習問題	153

## 10章 畳み込みニューラルネットワーク

10.1	畳み込みニューラルネットワークとは	155
10.1.1	空間フィルタリングと畳み込み	155
10.1.2	畳み込みと畳み込みニューラルネットワーク	156
10.2	畳み込み層とプーリング層	158
10.2.1	畳み込み層	158
10.2.2	プーリング層	159
10.2.3	畳み込みとプーリングを使ったネットワーク構造	161
10.3	カラー画像などの多層画像における畳み込み	163
10.4	畳み込みにおける外周処理	164
	演習問題	165

## 11章 ニューラルネットワークの学習効率化

11.1	バッチノーマライゼーション	167
11.1.1	バッチ処理	167
11.1.2	バッチデータの偏り	168
11.1.3	バッチノーマライゼーションによるデータの正規化	169
11.2	ドロップアウト	170
11.2.1	過学習	171
11.2.2	過学習の監視	172
11.2.3	ドロップアウトによる過学習の抑制	172
11.3	転移学習とファインチューニング	174
11.3.1	転移学習	175
11.3.2	ファインチューニング	176
	演習問題	177

## 12章 深層学習とその応用

12.1	深層学習	179
------	------	-----

12.1.1	深層学習における GPU の利用	179
12.1.2	深層学習のネットワークモデル	180
<b>12.2</b>	<b>物 体 検 出</b>	<b>186</b>
12.2.1	矩形による物体検出	187
12.2.2	物体検出における領域検出方法	188
12.2.3	物体検出のネットワークモデル	190
12.2.4	物体検出の学習に必要なデータ	192
12.2.5	アノテーションツール : Coco-Annotator	193
<b>12.3</b>	<b>姿 勢 推 定</b>	<b>194</b>
12.3.1	キーポイント検出	195
12.3.2	キーポイント検出の二つのアプローチ	196
12.3.3	姿勢推定のネットワークモデル	196
<b>12.4</b>	<b>生 成 モ デ ル</b>	<b>198</b>
12.4.1	VAE	198
12.4.2	GAN	200
12.4.3	GAN の発展的手法	202
	<b>演 習 問 題</b>	<b>203</b>

**13**章**人工知能のさまざまな技術と応用**

<b>13.1</b>	<b>時系列データの学習</b>	<b>205</b>
13.1.1	RNN	206
13.1.2	LSTM	209
13.1.3	GRU	211
13.1.4	自然言語処理での活用	212
<b>13.2</b>	<b>強 化 学 習</b>	<b>215</b>
13.2.1	強化学習と深層強化学習	215
13.2.2	強化学習の実例	216
<b>13.3</b>	<b>画像生成の応用</b>	<b>219</b>
13.3.1	画 像 変 換	219
13.3.2	文章からの画像生成	223
13.3.3	異 常 検 知	224
	<b>演 習 問 題</b>	<b>224</b>

<b>引用・参考文献</b>	<b>225</b>
----------------	------------

<b>索 引</b>	<b>231</b>
------------	------------

# 1 章

## アルゴリズムの基本

### ◆本章のテーマ

アルゴリズムとは問題を解く際の手順、計算手順を指す。この用語は、日常生活の中に出てくる書類の並べ替えや検索のほか、自動運転などをどのような手順で行うか、などにも使われる。しかし、アルゴリズム世界の主役はなんといってもコンピュータである。本章では、コンピュータでアルゴリズムを実現する手段であるプログラムとその際に必要となるデータ構造について説明する。また、数学で同じ問題に対して複数の解法があるように、プログラムで同じ問題を解決する際にも複数のアルゴリズムがある。それらのうちどれを選択すべきかを考える指標である計算量についても説明する。

### ◆本章の構成（キーワード）

- 1.1 アルゴリズムとは  
計算手順、プログラム、データ
- 1.2 データ構造  
変数、配列、キュー、スタック、ポインタ、構造体、リスト、木構造
- 1.3 アルゴリズムからプログラムへ  
条件分岐、繰返し、サブルーチン、再帰、フローチャート、疑似コード、オブジェクト指向、ソースプログラム、コンパイラ、実行可能プログラム
- 1.4 計算量  
時間計算量、空間計算量、オーダー

### ◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

- ☞ アルゴリズムとはなにか。アルゴリズムとプログラムの関係について
- ☞ アルゴリズムをプログラムで実現するためにデータをどのように扱うか
- ☞ プログラムの基本的な作り方とそのため部品
- ☞ プログラムが動くまでにどのような手順が必要か
- ☞ 速いプログラムとは？ なにがプログラムのスピードを決めるのか

## 1.1 アルゴリズムとは

**アルゴリズム** (algorithm) とは問題を解く手順のことである。ここでいう問題とは、数学や理科などの問題に限らず、身の回りにあるさまざまな事柄の中に潜んでいる。例えば、ビルに2基あるエレベーターをどう制御すれば多くの利用者にとって都合が良いか、市内に30か所ある郵便ポストをどの順番で回って郵便物を回収するのが一番効率が良いか、洗濯した20組の靴下を各ペアで干すときにどうすればすべての正しいペアを早く作ることができるか、などである。このように、問題は多岐にわたっており、読者の生活や仕事の中でもその解決のために、さまざまな方法が試され、改良・最適化が行われていることだろう。

現在では、アルゴリズムは多くの場合、どのようにしてコンピュータによりその問題を解くか（処理するか）という観点で論じられる。コンピュータは与えられた命令を順番に実行することにより処理を行うので、アルゴリズムは順序を指定された命令の集合体、すなわち、**プログラム**として表現される。つまり、人間が考案した問題解決の手順はプログラマによりプログラムとして表現されなければコンピュータで処理できない。一方、プログラムが作成される時には、そのアルゴリズムが対象とするもの、上記の例でいえば、エレベーターやポスト、靴下をどのように扱うかという視点も必要となる。これらはデータとして表現されコンピュータのメモリのどこかに保管されていて、読み出されたり書き換えられたりしなければならない。したがって、これらのデータの保管の仕方も重要である。

ゴールが同じである仕事を頼まれても人によってやり方が違うことも多い。例えば、100冊の本がランダムに並べられている本棚で、本をタイトル順に並べ替えるよう指示されても、Aさんの方法とBさんの方法はおそらく違い、その違いは仕事を終わらせるまでの時間や労力の差となって現れるだろう。これと同じように、同一の問題を解くためにも複数のアルゴリズムが考えられ、条件に応じた優劣がある。

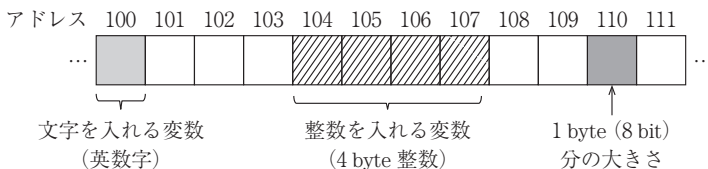


## 1.2 データ構造

現実の世界で人が作業を行う際、作業の場所をどのように用意するか、効率的に作業できるような環境を整えることも重要である。それと同じように、アルゴリズムをプログラムとして実現するためには、その対象をどのようにコンピュータの中で扱うか、つまり、どのような形のデータとして表現するかということが処理の効率に大きく影響する。データはコンピュータのメモリ上に置かれる。メモリは1バイト（1 byte = 8 bit）などの決まったサイズごとに連続したアドレス（番地）が付けられたものと考えることができる。言い換えるとメモリはデータが置かれる場所が順番に1列に並んでいる状況であるとイメージするとよい。アドレスは場所を区別する通し番号であり、通常は1アドレス分のメモリがデータの格納に使われる最小単位と考えてよい。これを用いてさまざまなデータの形を表現することとなる。これを**データ構造**（data structure）と呼ぶ。

### 1.2.1 変数

最も単純なデータ構造は数値や文字など一つだけ入れることができる**変数**（variable）である。変数はメモリ中のある大きさを占める場所であり、箱のような入れ物としてイメージすることができる。箱は中になにを入れるかに応じて大きさが異なる。例えば、整数を入れておく箱の大きさは、一般的には1文字を入れておく箱の大きさより大きい。英数字の1文字であればアドレス1個分の箱に収まるが、整数を入れようとするとアドレス4個分あるいは8個分の大きさの箱が使われる（**図 1.1**）。



**図 1.1** メモリのアドレスと変数が占める大きさ

## 4 1. アルゴリズムの基本

箱の中に入れるデータ，例えば数値は，一度入れた数値をそのまま変更せずに使うこともあるし，処理に合わせてつぎつぎと値を変更することもできる。また，箱はメモリ中の場所であるから，そのアドレスを使えば別の箱と区別することができるが，プログラムで利用する際は個々の箱にプログラマが名前を付ける。これを**変数名**という。

どのような種類のデータに対してどのような大きさの箱をプログラマが用意するかはメモリを効率的に使用するために重要である。そこで，多くのプログラミング言語では，言語設計者がデータに**型**（単純型，type）を複数用意している。例えば，文字型，整数型，浮動小数型などがある。変数に値を入れることを**代入**という。代入はプログラマがプログラムに記述するが，実際にメモリに値が格納されるのはプログラム実行時である。

### 1.2.2 配列

**配列**（array）は同じ種類のデータ**要素**が連続して隣り合って配置された形をしているデータ構造である。1方向に伸びていくものは1次元配列と呼ばれる。これに対して，表のように縦と横の2方向に展開していくイメージのものが2次元配列，これに高さの方向も加えた形のが3次元配列となる。人間にはイメージしにくい，5次元など，より高次元の配列も実現可能である。メモリはその番地付けの方法から，もともと1次元配列には親和性が高いが，2次元配列等を表現するためには「1次元配列の1次元配列」のように「要素が配列である配列」という形で表現する。

配列は別の言い方をすれば，単純な変数を規則的に隣り合うように並べたものであり，一般的にはそれ全体も**配列変数**である。配列はそれぞれの要素をバラバラな変数名ではなく，共通の配列変数名と連続番号で示す。この番号を**添え字**という（図1.2）。

例えば，array[5] のように書く。array が配列変数の名前前で5が添え字である。添え字は0からスタートする（ゼロオリジンともいう）プログラミング言語が多いが，中には1からスタートするものもある。最初の要素が array[0]

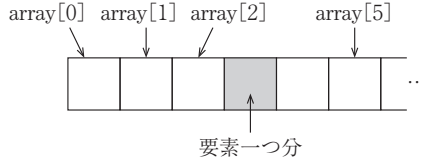


図 1.2 配列と添え字, 要素数 (ゼロオリジンの場合)

ならば `array[5]` は配列 `array` の 6 番目の要素であることに注意しよう。

### 1.2.3 キュー

キュー (queue) は配列のように同じ種類の要素を並べて入れておくデータ構造であるが, そこにデータを入れるのと取り出すのには制限がある。ちょうど, 図 1.3 のように筒の中に筒の径と同じサイズのテニスボールを入れることを想像してほしい。ボールがデータであり, ボールが順番に入れられた筒がキューである。筒の両端は開いており, 片方はボールを入れる専用, もう片方の端はボールを取り出す専用の口となっている。すなわち, 最初に入れた (first in) ボールが最初に取り出され (first out), 最後に入れたボールが取り出されるのは最後である。途中にあるボールも入れた順にした取り出せない。このためキューは (first in first out, FIFO, ファイフォと読むことが多い) と呼ばれる。

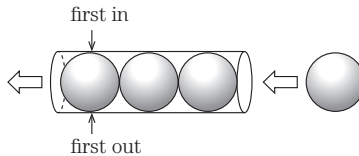


図 1.3 キュー

### 1.2.4 スタック

スタック (stack) はキューと似ているが, 図 1.4 のように筒の片方の端は閉じられている。したがって, この筒にボール (データ) を入れたり取り出したりするルールも異なる。空の状態から最初に入れたボールを取り出せるのはそれより後に入れたすべてのボールが取り出された後になる。最初に取り出せ

# 索引

## 【あ】

アセンブラ	20
アセンブリ言語	19
圧縮	80
宛先側ノード	68
アノテーション	192
アベレージプーリング	159
誤り検出	93
誤り訂正	93, 95
誤り訂正符号	97
アルゴリズム	2
暗号化	102
暗号文	104
暗号文単独攻撃	104

## 【い】

異常検知	224
意味理解	122
インスタンス化	19
インスタンスセグメンテーション	188
インタプリタ方式	19
インデックス	46
インデント	27

## 【う, え】

ヴィジュアル暗号	107
エキスパートシステム	122, 124
エージェント	215
枝	10
エニグマ	108
エリア	78

## 【お】

オーダー	21
オブジェクト	18
オブジェクト指向	18
オープンアドレス法	46
重み	60, 61, 135, 138
音声合成	122
音声認識	122

## 【か】

回帰問題	130
階層型ニューラルネットワーク	
ワーク	135
解読	104
開発環境	21
返り値	15
過学習	170, 171
鍵	102
可逆圧縮	81
学習システム	127
学習済みモデル	128, 174
画像変換	219
型	4
偏り	138
活性化関数	135
活用	215
カーネル	156
可変長データ	205
環境	215
感情合成	122
感情認識	122
関数	13, 15

## 【き】

機械学習	122, 124, 125
------	---------------

機械語	20
機械翻訳	212
木構造	9, 83
疑似コード	17
キーポイント	195
キーポイント検出	195
キュー	5
強化学習	125, 131, 215
教師あり学習	125, 129
教師信号	129
教師なし学習	125, 131
教師ラベル	129
共通鍵暗号	103
行列演算	151
距離ベクトル型	74

## 【く】

クイックソート	38
空間計算量	21
空間フィルタリング	155
組合せ最適化	124
クラス	18
クラスタリング	131
グラフ	60
繰返し	12
グローバルアベレージプーリング	162

## 【け】

計算量	21
経路ノード	61
経路	60
経路探索	60
経路表	73
言語識別	122

<b>【こ】</b>		始点ノード	61	<b>【そ】</b>	
公開鍵	112	自動翻訳	212	素因数分解	116
公開鍵暗号	103	シナプス結合	134, 138	相互結合型ニューラル	
高級言語	19	シャノン限界	100	ネットワーク	136, 206
交差判定	53	終点ノード	61	挿入ソート	28
光子	55	出現頻度	83	双方向リスト	8
降順	25	出力ゲート	211	添え字	4
構造体	7	出力層	140	素数	113
行動	215	出発側ノード	68	ソースコード	17
勾配消失	139, 150	条件分岐	12	ソースプログラム	17
勾配法	145	昇順	25	ソート	25
構文	12	自律システム	73	損失関数	143
誤差逆伝播法	148	人工知能	121	損失値	143, 145
コスト	60, 61	深層学習	124, 134, 179		
固定長データ	205	深層強化学習	216	<b>【た】</b>	
コード	17	伸長	80	大域照明	55
コンパイラ	20	シンドローム	98	ダイクストラ法	60
コンパイル方式	19			第3次人工知能ブーム	122
		<b>【す】</b>		ダイナミックルーティング	
<b>【さ】</b>		推論エンジン	122, 125		73
再帰	15, 35	スキュラレー	105	代入	4
最小ヒープ	33	スタック	5	畳み込み	156
最短経路	60	スタティックルーティング	73	畳み込み層	158
最適化	143	ストリーム暗号	109	畳み込みニューラルネット	
サーチ	43	スライド窓	85	ワーク	134, 155
サブルーチン	13			ターボ符号	100
残差学習	181	<b>【せ】</b>		探索	215
残差ブロック	182	正解率	127	単純選択法	31
サンプリング	89	制御構造	18	単純挿入法	29
		制御文字	14		
<b>【し】</b>		生成系 AI	198	<b>【ち, つ】</b>	
ジェネラティブ AI	198	生成モデル	132, 198	チェイン法	46
シェルソート	30	セマンティックセグメン		チェックサム	95
時間計算量	21	テーション	188	チェックディジット	93, 94
時系列データ	205	セル	209	中間層	140
シーザー暗号	105	線形走査法	47	直列化処理	161
字下げ	27	線形探索	43	強い AI	121
視聴覚特性	81	全結合	140		
実行可能プログラム	17, 20	選択ソート	31		

【て】

デジタル署名	117
ディスタンスベクタ型	74
ディープラーニング	124, 179
低密度パリティ検査符号	100
テキスト	17
データ構造	3
データ探索	43
手続き型	18
転移学習	174, 175
電子署名	113

【と】

特徴量	58
特化型 AI	121
トポロジー	77
トポロジーマップ	77
ドロップアウト	171, 172

【な, に】

流れ図	17
二重ハッシュ法	47
二分探索	44
二分探索木	50
二分ヒープ	66
入力ゲート	211
入力層	140
ニューラルネットワーク	122, 124, 134
ニューロン	134, 137
人間によるフィードバックを 用いた強化学習	214
認証局	118

【ね, の】

根	10
脳神経回路網	134
ノード	10, 60

【は】

葉	10
バイアス値	138
バイナリ	17
バイナリサーチ	44
配列	4
配列変数	4
バウンディングボリューム	54
パケット	72
バースト誤り	93
パーセプトロン	136
発火	134
バックプロパゲーション	148
ハッシュ関数	46
ハッシュ探索	46
バッチサイズ	168
バッチ処理	168
バッチノーマライゼーション	169
パディング	165
パノプティックセグメン テーション	189
幅優先探索	48
ハフマン符号化	83
バブルソート	26, 27
ハミング符号	97
パラメータ	142
パリティチェック	93, 94
半教師あり学習	131
汎用型 AI	121

【ひ】

非可逆圧縮	81
引数	15
ヒープ	33
ヒープソート	33
ピボット	38
秘密鍵	112

ヒューリスティック	67
標準ライブラリ	14
標本化	89
平文	104
ビルド	21

【ふ】

ファインチューニング	174, 176
フィードフォワード型ニュー ラルネットワーク	135
フィボナッチ数列	15
フォトン	55
フォトンマッピング法	55
フォトンマップ	55
深さ優先探索	48
復号	102, 104
物体検出	186
負閉路	71
プーリング層	159
フレーム間予測	91
フローチャート	17
プログラム	2
ブロック暗号	109
ブロックノイズ	88
プロンプト	215
文章生成	122
分類	128
分類問題	129

【へ】

平均二乗誤差	143
平衡二分探索木	50
ベクトル演算	151
ヘッダー	72
ベルマンフォード法	60, 68
辺	60
変数	3
変数名	4
偏微分	146

<b>【ほ】</b>		戻り値	15	リンクステート型プロトコル	77
ポインタ	6	<b>【ゆ】</b>		隣接交換法	27
忘却ゲート	211	有向グラフ	68	隣接ノード	61
報酬	215	ユークリッド距離	67	<b>【る】</b>	
法の世界	113	<b>【よ】</b>		累計コスト	61
ポート	72	要素	4	ルーター	72
<b>【ま】</b>		要約関数	117	ルーチン	13
マクロ	14	予測	128	ルーティングテーブル	73
マージ	34	弱いAI	121	ルーティングプロトコル	73
マージソート	34	<b>【ら】</b>		ルート認証局	118
マックスプーリング	159	ライブラリ	14	ループ	12
マルチラベル	129	ラインダール	110	<b>【れ】</b>	
マンハッタン距離	67	ラベル	125	レイ	53
<b>【む, め】</b>		ランダム誤り	93	レイトレーシング法	53
無限ループ	12	ランレングス圧縮	82	連想配列	10
命令セット	19	<b>【り】</b>		<b>【ろ】</b>	
メソッド	18	離散コサイン変換	88	ローカルミニマム	147
メッセージ	18	リスト	8	ロスレス	87
メディアデータ	80	リードソロン符号	99		
メンバ	7	領域計算量	21		
<b>【も】</b>		リンカ	20		
モスキートノイズ	88	リンク	8		

<b>【A】</b>		BVH	54	Coco-Annotator	193
AES	110	<b>【C】</b>		COCO 形式	192
AI	121	Cascaded Pyramid Network	197	COCO データセット	193
AI のべりすと	214	ChatGPT	214	Conditional GAN	202
AlexNet	179	ChatGPT Plus	215	CPN	197
AS	73	Chimera Painter	222	CycleGAN	221
A*アルゴリズム	66	chrome dinosaur	216	<b>【D】</b>	
<b>【B】</b>		chrome driver	217	DALL-E2	223
BERT	213	CNN	155	DCGAN	202
BGP	74			DCT	88

deflate	86	Lightweight GAN	202	Rijndael	110
depthwise convolution	184	LSA	77	RIP	74
DES	110	LSDB	77	RNN	206
<b>[E, F]</b>		LSTM	209	RNN 層	207
EGP	73	LZSS 法	81, 86	RSA 暗号	112
else	12	LZW 法	87	<b>[S]</b>	
Faster R-CNN	191	LZ 法	85	SA	112
for 文	12	<b>[M]</b>		selective search	190
<b>[G]</b>		Mask R-CNN	191, 197	SIFT	58
GAN	132, 200	Midjourney	223	sigmoid 関数	138
GAP	162	MNIST	156	SPF ツリー	77
GIF	87	mobilenet	183	Squeeze-and-Excitation	
GPT-1	213	MSE	143	モジュール	185
GPT-2	213	<b>[N, O]</b>		Stable Diffusion	223
GPT-3	213	NULL	6	<b>[T]</b>	
GPT-3.5	214	NVIDIA Canvas	221	tanh 関数	208
GPT-4	215	OpenPose	196	TensorFlow	153
GPU	123, 151	OSPF	74, 77	TLS	118
GRU	211	<b>[P]</b>		Torch	153
<b>[H, I]</b>		PA	112	<b>[U, v]</b>	
h-swish 関数	185	Pascal VOC	174, 193	U-Net	220
if 文	12	pix2pix	219	VAE	198
IGP	73	PNG	87	VGG 16	180
<b>[J, K]</b>		pointwise convolution	184	VGG 19	180
JAN コード	95	PoseNet	197	visual word	58
k-d tree	55	<b>[R]</b>		<b>[W, X, Y]</b>	
Keras	153	R-CNN	190	while 文	12
<b>[L]</b>		ReLU6 関数	185	Word2Vec	212
LDPC	100	ReLU 関数	139	x 方向微分フィルタ	156
		ResNet	181	YOLO	190



— 著者略歴 —

**藤澤 公也** (ふじさわ きみや)

- 1994年 慶應義塾大学環境情報学部環境情報学科卒業
- 1996年 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了 (政策・メディア専攻)
- 1999年 東京工科大学講師  
現在に至る
- 2002年 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程退学
- 2005年 博士 (政策・メディア) (慶應義塾大学)

**寺澤 卓也** (てらさわ たくや)

- 1989年 慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業
- 1991年 慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了 (計算機科学専攻)
- 1994年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程単位取得満期退学
- 1994年 東京工科大学講師
- 1996年 博士 (工学) (慶應義塾大学)
- 2001年 東京工科大学助教授
- 2007年 東京工科大学准教授
- 2019年 東京工科大学教授  
現在に至る

**羽田 久一** (はだ ひさかず)

- 1993年 大阪大学工学部精密工学科卒業
- 1993年 キヤノン株式会社勤務
- 1995年 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了 (情報システム専攻)
- 1998年 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程単位取得退学 (情報システム専攻)
- 1998年 奈良先端科学技術大学院大学助手
- 2001年 博士 (工学) (奈良先端科学技術大学院大学)
- 2003年 慶應義塾大学特別研究専任講師 (大学院政策・メディア研究科)
- 2012年 東京工科大学准教授
- 2020年 東京工科大学教授  
現在に至る

メディアのためのアルゴリズム — 並べ替えから深層学習まで —  
Algorithm for Media Science — from Sorting to Deep Learning —

© Fujisawa, Terasawa, Hada 2023

2023年9月8日 初版第1刷発行



検印省略


著者	藤澤公也
	寺澤卓也
	羽田久一
発行者	株式会社 コロナ社
	代表者 牛来真也
印刷所	萩原印刷株式会社
製本所	有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10  
発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.  
Tokyo Japan  
振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)  
ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02776-1 C3355 Printed in Japan

(松岡)



 <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。